

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

EP 00/09232

REC'D 02 NOV 2000

WIPO PCT

10-089321

EJU

**PRIORITY
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 199 45 748.4

Anmeldetag: 24. September 1999

Anmelder/Inhaber: Dr. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH,
Traunreut/DE

Bezeichnung: Anordnung und Verfahren zur Verbesserung des
Führungsverhaltens eines Drehzahlreglers

IPC: G 05 B, G 05 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Anmeldung.

München, den 6. Juni 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
 Im Auftrag

Wehner

Anordnung und Verfahren zur Verbesserung des Führungsverhaltens eines
Drehzahlreglers

=====

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbesserung des Führungsverhaltens eines Drehzahlreglers.

Bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen wird regelmässig eine
5 kaskadierte Regelungsstruktur, bestehend aus Lage-, Drehzahl- und
Stromregelung verwendet. Der dabei verwendete Drehzahlregler weist meist
einen proportionalen (P) und einen integralen (I) Anteil auf. Durch den I-
Anteil des Drehzahlreglers wird der Phasengang des geschlossenen
Lageregelkreises verschlechtert. Daher muß die Lagereglerverstärkung kV
10 reduziert werden, um Schwingungen in den durch die Regelungsstruktur
geregelter Antriebssystemen der Werkzeugmaschine zu vermeiden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, einen Drehzahlregler
anzugeben, der ein verbessertes Führungsverhalten aufweist. Insbesondere
15 soll bei einer möglichst grossen Lagereglerverstärkung die Störsteifigkeit im
Drehzahlregler nicht verringert werden müssen. Die Störsteifigkeit wird
bestimmt durch die Ausregelungsgeschwindigkeit des Integrators bei

Störungen auf die Regelstrecke und ist eine wichtige Größe bei Bearbeitungsvorgängen. Die Rückwirkung von Kraft- und Drehzahleinflüssen eines Fräasers werden dadurch reduziert. Ausserdem soll der Drehzahlregler kompakt und kostengünstig realisiert werden.

5

Das erfindungsgemässe Verfahren und die erfindungsgemässe Anordnung weisen den Vorteil auf, dass durch Vorschalten der erfindungsgemässen Integral Phase Compensation (IPC) der negative Einfluß des I-Anteils auf die Führungsgröße eliminiert wird. Weiterhin ist vorteilhaft, dass die Störsteifigkeit des Drehzahlreglers erhalten bleibt.

10

Weitere Vorteile sowie Einzelheiten des erfindungsgemässen Verfahrens und der erfindungsgemässen Anordnung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele anhand der unmittelbar in der Beschreibung vorgesehenen Zeichnungen.

15

Es wurde das erfindungsgemässe Verfahren und die erfindungsgemässe Anordnung anhand einer mathematischen Simulation getestet. Diese Simulation, die neben dem mathematischen Maschinenmodell auch das mathematische Modell der Erfindung beinhaltet wird im folgenden beschrieben.

20

Das Massenträgheitsmoment der Regelstrecke ist zusammen mit der Momentenkonstante des Motors die bestimmende Kenngröße des Systems. Dabei werden folgende Parameter verwendet:

25

Massenträgheit $J_I = 50 \text{ kgcm}^2$

Motorkonstante $k_{MC} = \frac{1.5 \text{ Nm}}{\sqrt{2} A_{eff}}$

30

Somit ist die Regelstrecke $G(s)$ bestimmt durch:

$$G(s) = \frac{num}{den} = \frac{1}{J * s}$$

Die Umrechnung von Kreisfrequenz ω nach U/s erfolgt durch ein nachgeschaltetes P-Glied mit $1 / (2 * \Pi)$. Über den Eingang "Störmoment Ms" kann eine Störung eingespeist werden, die gleichzeitig auf die Momentengröße und die Istdrehzahl wirkt. Dies soll einer typischen Störung durch Fräser-Eingriff entsprechen und dient der Beurteilung der Störsteifigkeit.

- 10 Um realistische drehzahlabhängige Verluste zu simulieren, erfolgt noch eine Rückführung k'_p des internen Streckenausganges auf den Momenten-Summierungspunkt. Dadurch entsteht eine neue Regelstrecke $G'(s)$.

$$G'(s) = \frac{\frac{1}{J * s}}{1 + k'_p * \frac{1}{J * s}}$$

$$G'(s) = \frac{1}{k'_p + J * s}$$

$$G'(s) = \frac{1}{k'_p} * \frac{1}{1 + \frac{J}{k'_p} * s}$$

- 15 Durch diese Rückführung entsteht ein TP1-Regler.

Abbildung: Modell der Regelstrecke 1. Ordnung mit Störeinspeisung

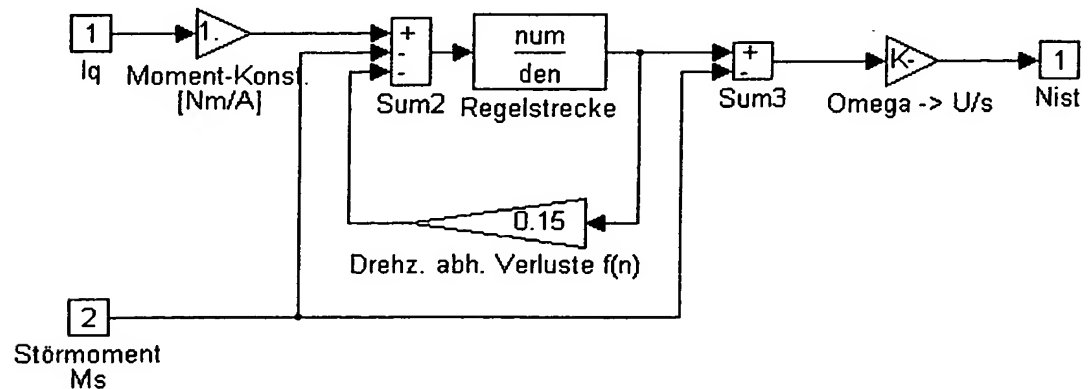
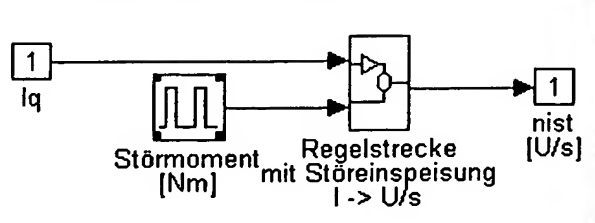


Abbildung: Modell der gestörten Regelstrecke



- 5 Die Regelstrecke wird mit einem Störpuls von 2 Nm und einer Dauer von 70 ms beaufschlagt. Der Startzeitpunkt liegt bei 40 ms.

Diese gestörte Regelstrecke wird als Gruppe "Gestörte Regelstrecke A -> U/s" in eine Simulation eingebunden.

10

Simulationsmodell

Das Simulationsmodell enthält eine geschlossene Lageregler Schleife. Zu Abgleichzwecken des Drehzahlreglers kann über Switch 1 ein Sprung von 200 mm/min auf den Drehzahlregler gegeben werden.

15

Simulationsmodell für Untersuchung Referenzmodell (1. Ordnung)

Bestimmung der Simulationsparameter

Für die Parametrierung der Regler mußten die Reglerverstärkungen ermittelt werden.

Abgleich des Drehzahlreglers

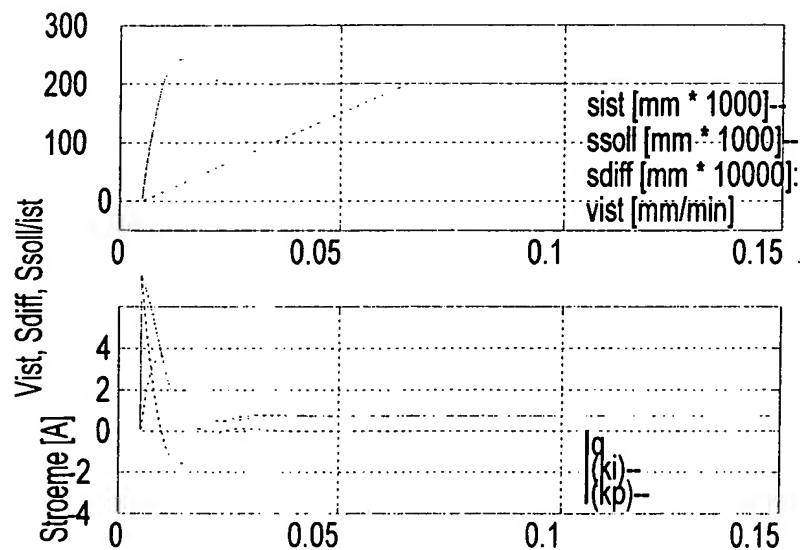
5

Zum Abgleich des Drehzahlreglers wurde das Störmoment der Regelstrecke vorübergehend auf 0 gesetzt und Switch 1 auf Sprung eingestellt. Die Sprunghöhe betrug 200 mm/min.

10 Für die Verstärkungsfaktoren für

P-Faktor (Drehzahlregler)	= 9
I-Faktor (Drehzahlregler)	= 2200

Des Reglers ergab sich folgendes Bild:

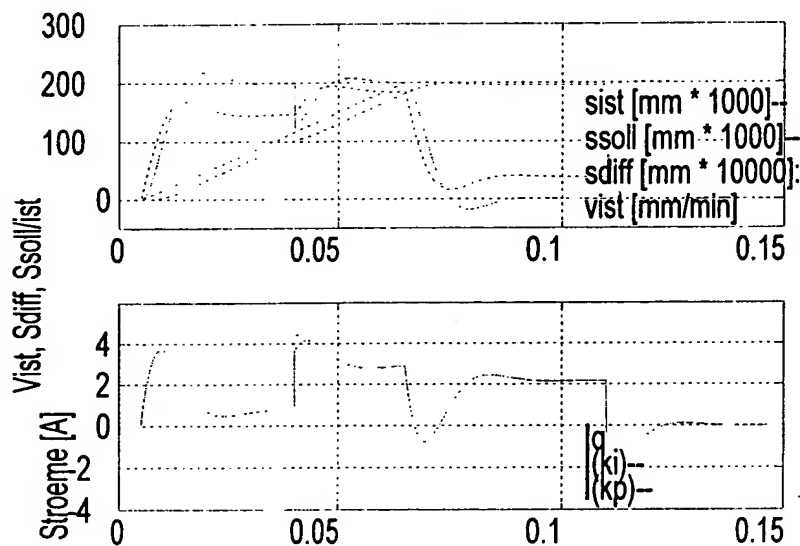


Die Simulationsergebnisse entsprechen einem realen Antrieb. Die Anregelzeit wurde mit $T_a = 4,6 \text{ ms}$ bestimmt.

Bestimmung der Lagereglerverstärkung k_V .

- 5 Um die maximale Lagereglerverstärkung zu bestimmen, wurde der I-Anteil des Drehzahlreglers auf 0 gesetzt.

Lagereglerverstärkung	= 15
P-Faktor (Drehzahlregler)	= 9
I-Faktor (Drehzahlregler)	= 0



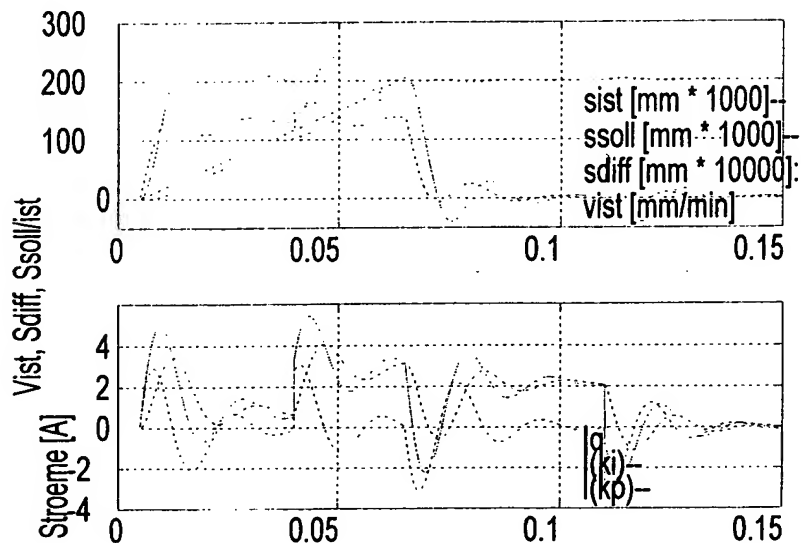
- 10 Der k_V -Faktor wurde so eingestellt, daß am Motor-Sollstrom I_q keine Schwingung auftrat.

An der Schleppfehler-Kurve ist die geringe Störsteifigkeit ohne I-Anteil zu erkennen. Es findet keine vollständige Ausregelung der Störung statt.

Aktivieren des I-Anteils des Drehzahlreglers

Es wurde der I-Anteil des Drehzahlreglers aktiviert, ohne daß die Lagereglerversärkung reduziert wurde

Lagereglerversärkung	= 15
P-Faktor (Drehzahlregler)	= 9
I-Faktor (Drehzahlregler)	= 2200



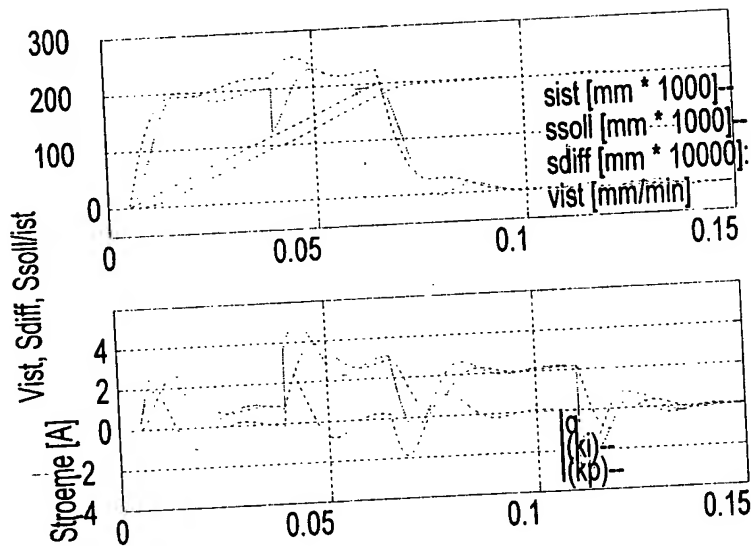
5

An den Motorströmen ist leicht zu erkennen, daß das System schwingt. Der kV-Faktor (oder der I-Anteil des Drehzahlreglers) muß reduziert werden.

Reduzierung der Lagereglerversärkung

- 10 Es wurde der kV-Faktor des Lagereglers reduziert, bis keine Schwingneigung mehr auftrat.

Lagereglerverstärkung	= 9
P-Faktor (Drehzahlregler)	= 9
I-Faktor (Drehzahlregler)	= 2200



Durch den geringeren k_V -Faktor steigt der Schleppfehler (schlechtes Führungsverhalten), allerdings ist gegenüber einem System ohne I-Anteil die Störsteifigkeit verbessert.

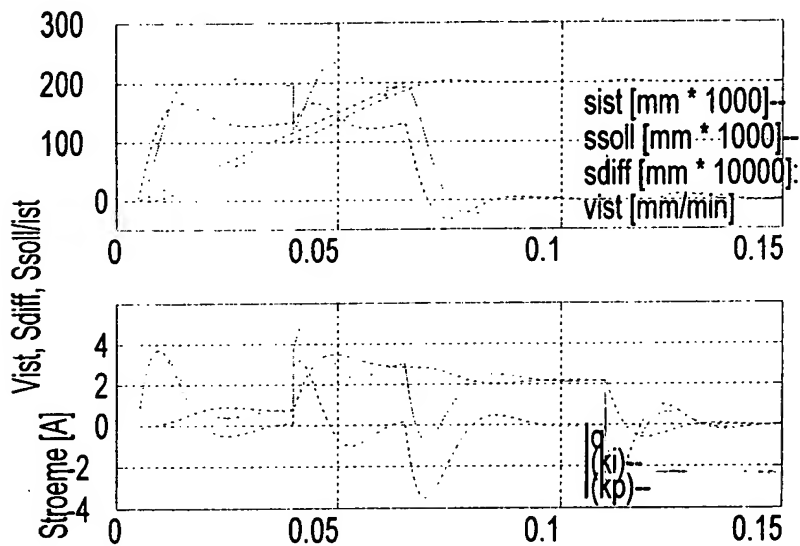
5

Vorschalten des IPC-Referenzmodells (1. Ordnung) vor den I-Anteil

Es wurde der k_V -Faktor eingestellt, der anfangs ohne I-Anteil des Drehzahlreglers möglich war. Zusätzlich wurde der I-Anteil des abgeglichenen Drehzahlreglers eingestellt. Das Referenzmodell wurde 1.

10 Ordnung realisiert (Vernachlässigung der Verlustrückführung der Regelstrecke).

Lagereglerverstärkung	MP1510 [m/min/mm]	= 15
P-Faktor (Drehzahlregler)	MP2500 [As]	= 9
I-Faktor (Drehzahlregler)	MP2510 [A]	= 2200



Aus dem Diagramm kann abgelesen werden, daß bei geringem Schleppfehler eine hohe Störsteifigkeit gegeben ist.

- 5 Berechnung des IPC-Referenzmodells
 Grundlage für das Referenzmodell ist, daß alle Anteile des P-Reglers incl. Strecke nicht an den Integrator gelangen. Deshalb wird ein vereinfachtes Modell der geschlossenen Reglerschleife (nur P-Regler aktiv) in die Sollvorgabe des Integrators eingefügt. Die Motorverluste werden nicht
 - 10 berücksichtigt.
- Berechnung aus Modellparametern
 Folgende physikalische Größen tauchen in dieser geschlossenen Reglerschleife auf:

P-Faktor Drehzahlregler: in [As/U]

Motorkonstante: $k_{MC} / \sqrt{2}$ in [Nm/A]

Massenträgheitsmoment der Strecke J_I

- 5 Die Übertragungsfunktion $G(s)$ des offenen Regelkreises lautet somit:

$$G(s) = MP2500 * k_{MC} * \frac{1}{2 * \pi} * \frac{1}{J_I * s}$$

$$k'_p = MP2500 * k_{MC} * \frac{1}{2 * \pi}$$

$$G(s) = k'_p * \frac{1}{J_I * s}$$

Die Übertragungsfunktion $H(s)$ des geschlossenen Regelkreises lautet:

10

$$H(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)}$$

$$H(s) = \frac{\frac{k'_p}{J_I * s}}{1 + \frac{k'_p}{J_I * s}}$$

$$H(s) = \frac{1}{1 + \frac{J_I}{K'_p} * s}$$

$$H(s) = \frac{1}{1 + T_1 * s}$$

Man erhält als IPC-Referenzmodell ein PT1-Glied mit der Zeitkonstante T_1 :

15

$$T_1 = \frac{J_I}{k'_p} = \frac{J_I * 2 * \pi}{MP2500 * k_{MC}} \quad (F1)$$

Berechnung aus Maschinenparametern

Heidenhain-Steuerungen weisen eine über einen Maschinenparameter einstellbare Beschleunigungsvorsteuerung auf. Dieser Maschinenparameter MP26 gibt den Kehrwert der Winkelbeschleunigung α pro Strom in [As²/U] an. Über die Winkelbeschleunigung kann auf einfache Weise die Zeitkonstante des IPCs berechnet werden.

M_{el} = elektrisches Moment [Nm]

k_{MC} = Motor-Momentenkonstante [Nm/A]

10 J_I = Massenträgheitsmoment [kg.m²]

MP26 = Beschleunigungsvorsteuerung [As²/U]

$$M_{el} = I_{MOT} * k_{MC}$$

$$\alpha = \frac{M_{el}}{J_I}$$

$$\alpha = \frac{I_{MOT} * 2 * \pi}{MP26}$$

Gleichgesetzt ergibt sich:

$$15 \quad \frac{J_I}{k_{MC}} = \frac{MP26}{2 * \pi}$$

Dieses in (F1) eingesetzt:

$$T_1 = \frac{J_I}{k'_p} = \frac{J_I * 2 * \pi}{MP25 * k_{MC}}$$

$$\boxed{T_1 = \frac{MP26}{MP25}} \quad (F2)$$

20

Obwohl der IPC zum Integralfaktor des Drehzahlreglers zuzuordnen ist, sollte der IPC-MP bei den Vorsteuerparametern liegen, da er erst eingesetzt werden kann, wenn MP26 ermittelt wurde.

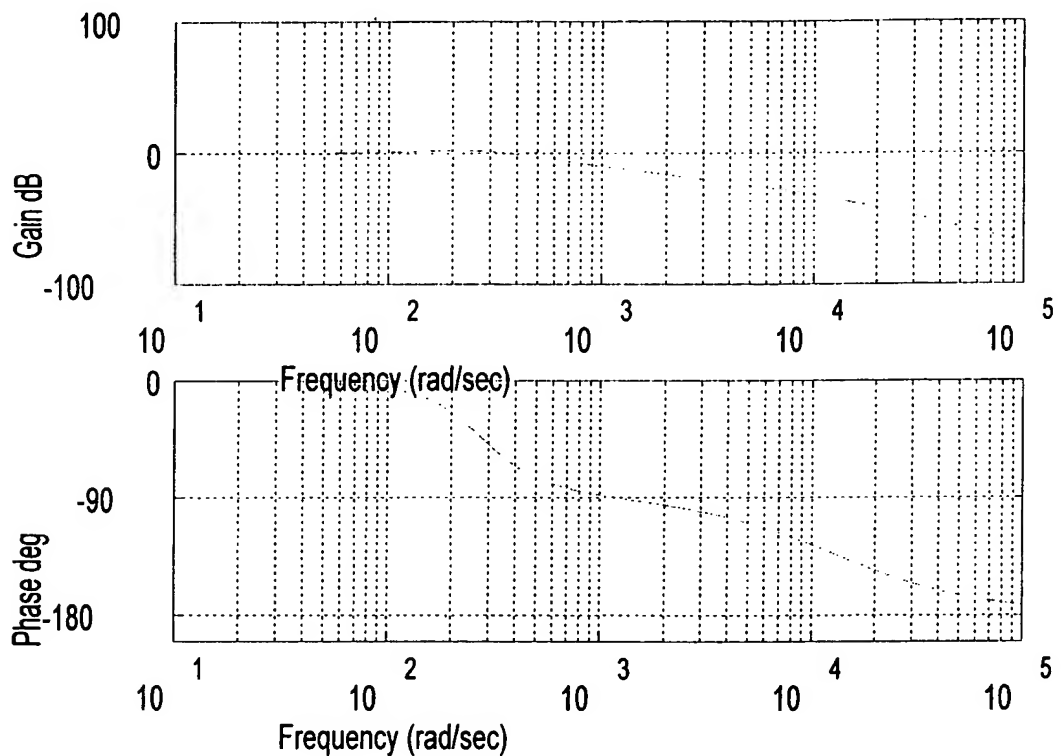
25

Untersuchung des Phasenganges der Drehzahlreglerschleife

Für die Untersuchung des Phasenganges wird die Phasenverschiebung des geschlossenen Drehzahlregelkreises untersucht. Dazu wurde ein Simulationsmodell, das u.a. die Soll- und Istgeschwindigkeit beinhaltet
5 benutzt. Dabei wurden folgende Phasengänge bestimmt.

Phasengang ohne IPC

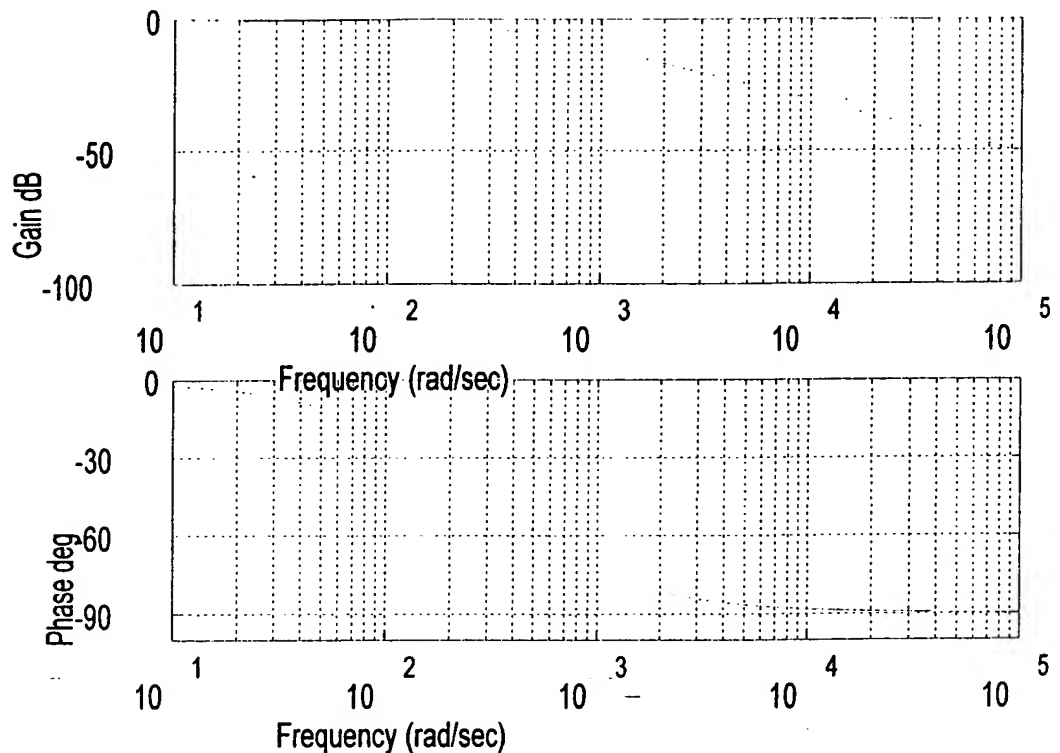
Abbildung: Phasengang ohne IPC



- 10 Man erkennt, daß sich erst bei -180° eine Grenze in der Phase ergibt. Zusammen mit zusätzlichen Verzögerungen, Totzeiten und großen Massen bei realen Systemen ergibt sich eine Reduzierung des Phasenrands durch den I-Anteil des Drehzahlreglers.

Phasengang mit IPC

Abbildung: Phasengang mit IPC



Die Phase wird mit IPC nur um max. -90° verschoben. Durch die Erhöhung
5 des Phasenrandes ergibt sich eine bessere Stabilität (bzw. höherer kV) des
Lagereglers.

Berücksichtigung des IPCs in der Vorsteuerung

Alle vorausgehenden Betrachtungen fanden ohne Vorsteuerungen
10 (geschleppte Betriebsart) statt. Im folgenden wird die Vorsteuerung mit
einbezogen.

Im Simulationsmodell wurde dazu aus Gründen der Übersicht der
Drehzahlregler in einem eigenen Block realisiert und mit folgenden
15 Eingängen (von oben nach unten) ausgestattet:

Die Streckenvorgabe kommt aus dem Interpolatorblock (IPO). Über die Matlab-Datei "M_IPO.M" kann eine Parametrierung von Ruck, Beschleunigung, Geschwindigkeit und Strecke vorgenommen werden. "M_IPO.M" wird auch innerhalb von "M_IPC.M" aufgerufen.

5

Schleppfehlersimulationen

Im Folgenden werden die verschiedenen Vorsteuerungen nacheinander zugeschaltet. Um die Wirkung zu vergleichen, wurden alle Simulationsparameter konstant gehalten.

10

Streckenparameter:

Momentenkonstante	Ktc [Nm/A]	= $1.5 \cdot \sqrt{2}$
Last-Trägheitsmoment	Jl [kg.m ²]	= 9
Drehzahl-Verluste	[Nm/ω]	= 0.15

Regelkreisparameter:

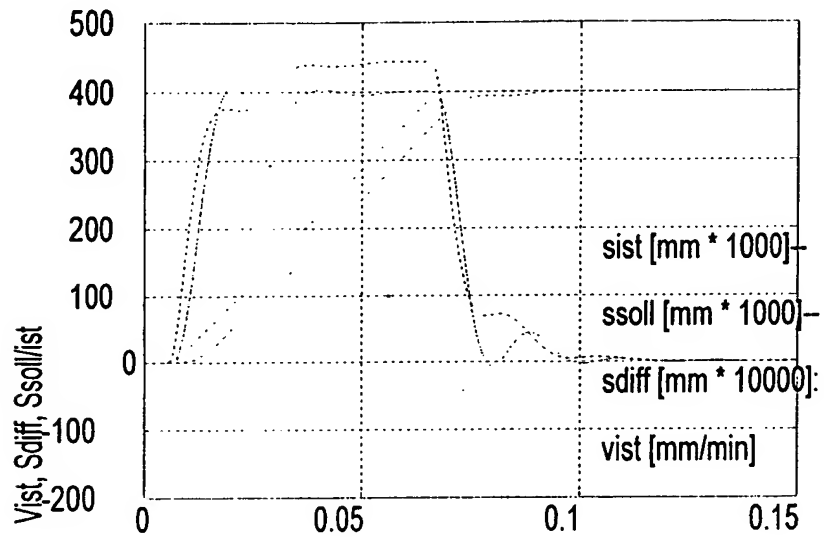
Lagereglerverstärkung	MP1510 [m/min/mm]	= 9
P-Faktor (Drehzahlregler)	MP2500 [As]	= 9
I-Faktor (Drehzahlregler)	MP2510 [A]	= 2200

15 Interpolationsparameter:

Ruck	r [m/s ³]	= $2 \cdot 10^3$
Beschleunigung	a [m/s ²]	= 5
Geschwindigkeit	v [m/s]	= 0.4 / 60
Lage	s [m]	= $4 \cdot 10^{-4}$

Schleppfehler ohne Vorsteuerung

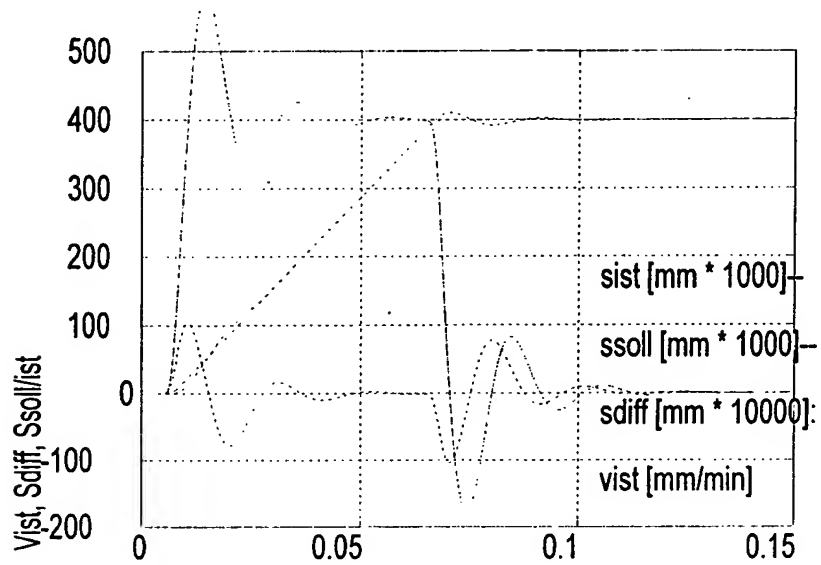
Abbildung Schleppfehler ohne Vorsteuerungen



Es ergibt sich ein maximaler Schleppfehler von ca. 45 μ m, der unzulässig hoch ist.

Schleppfehler mit Geschwindigkeitsvorsteuerung

Abbildung Schleppfehler ohne Vorsteuerungen

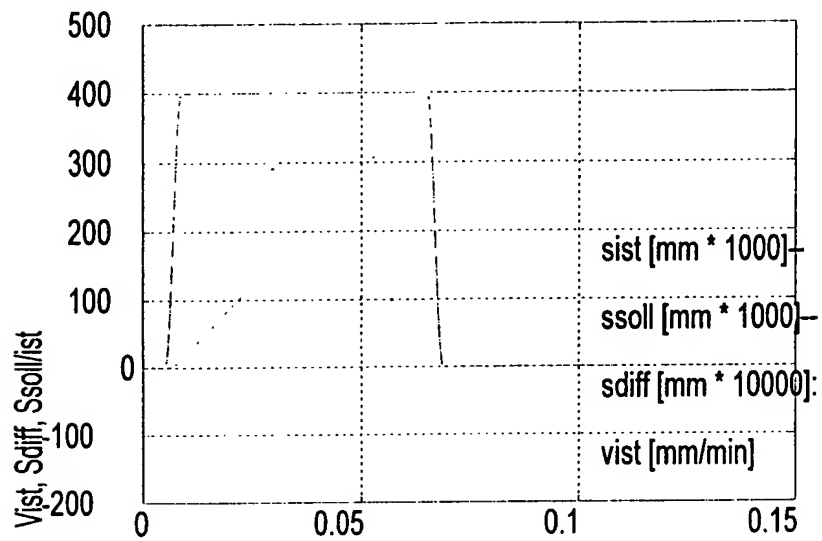


Es ergibt sich ein max. Schleppfehler während der Beschleunigungsphase

5 von 10 um.

Schleppfehler mit Beschleunigungsvorsteuerung

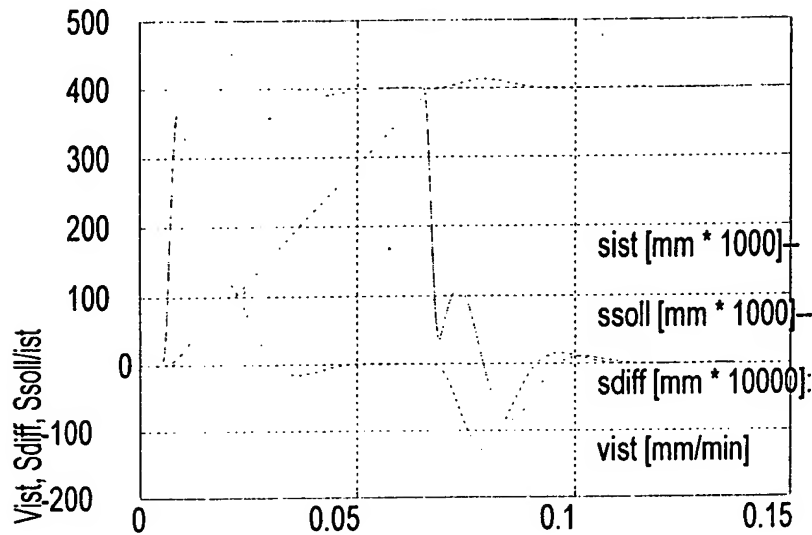
Abbildung Schleppfehler mit Beschleunigungsvorsteuerung



Ein Schleppfehler ist nicht mehr nachweisbar.

Schleppfehler mit IPC (ohne IPC-Vorsteuerung)

Abbildung Schleppfehler mit Vorsteuerung und IPC (ohne IPC-Vorsteuerung)



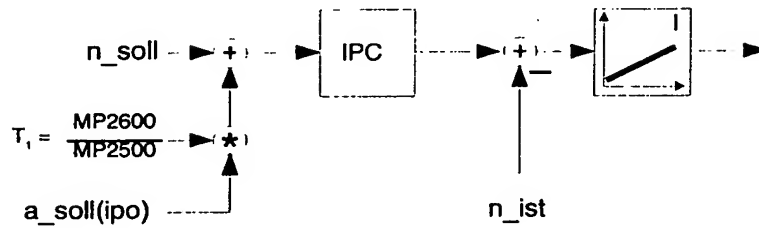
- 5 Am Ende der Beschleunigungsphase baut sich ein Schleppfehler von 13 um auf.

Einbau einer IPC-Vorsteuerung in den Drehzahlregler

- Um den Schleppfehler während der Beschleunigungsphase zu reduzieren, muß eine Beschleunigungsvorsteuerung implementiert werden. Da die Eingangsgröße des IPCs eine Geschwindigkeit ist, ist eine Multiplikation der Beschleunigungsvorsteuergröße $a_{soll}(ipo)$ mit der IPC-Zeitkonstante $T1$ nötig.

- 15 Um eine rechenzeitoptimierte Implementation zu ermöglichen, wurde der Vorsteuer-Summierungspunkt vom Reglerausgang zum IPC-Eingang vorverlegt. dabei ergibt sich folgende Struktur:

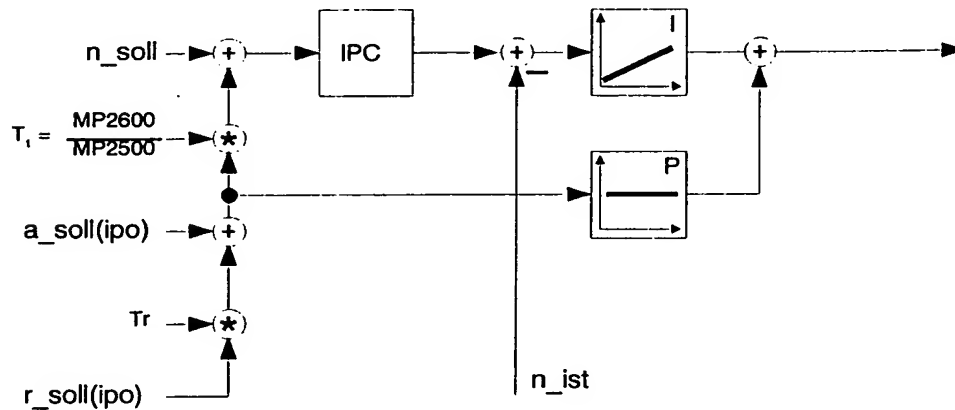
Abbildung IPC mit Beschleunigungsvorsteuerung



- 5 Eine weitere Verbesserung des Schleppfehlers kann durch eine Ruck-Vorsteuerung erreicht werden. Die Vorsteuergröße " $r_soll(ipo)$ " kann durch einfaches Differenzieren von " $a_soll(ipo)$ " im Drehzahlregler gebildet werden. Der dabei entstehende zeitliche Fehler von einer halben Abtastzeit spielt nur eine untergeordnete Rolle.

10

Abbildung IPC mit Beschleunigungs- und Ruck-Vorsteuerung

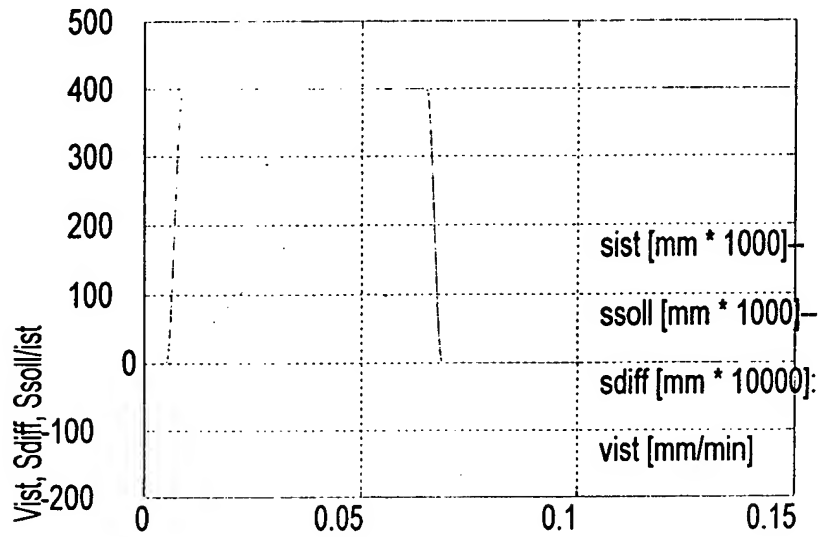


- 15 Schleppfehler mit konv. Vorsteuerung, IPC und IPC-Vorsteuerung

In der Simulation wurden die relevanten Vorsteuerungen um obige Struktur erweitert und mit einer Struktur verglichen, bei welcher der Vorsteuerpunkt am Reglerausgang liegt. Dabei ergaben sich keine Unterschiede.

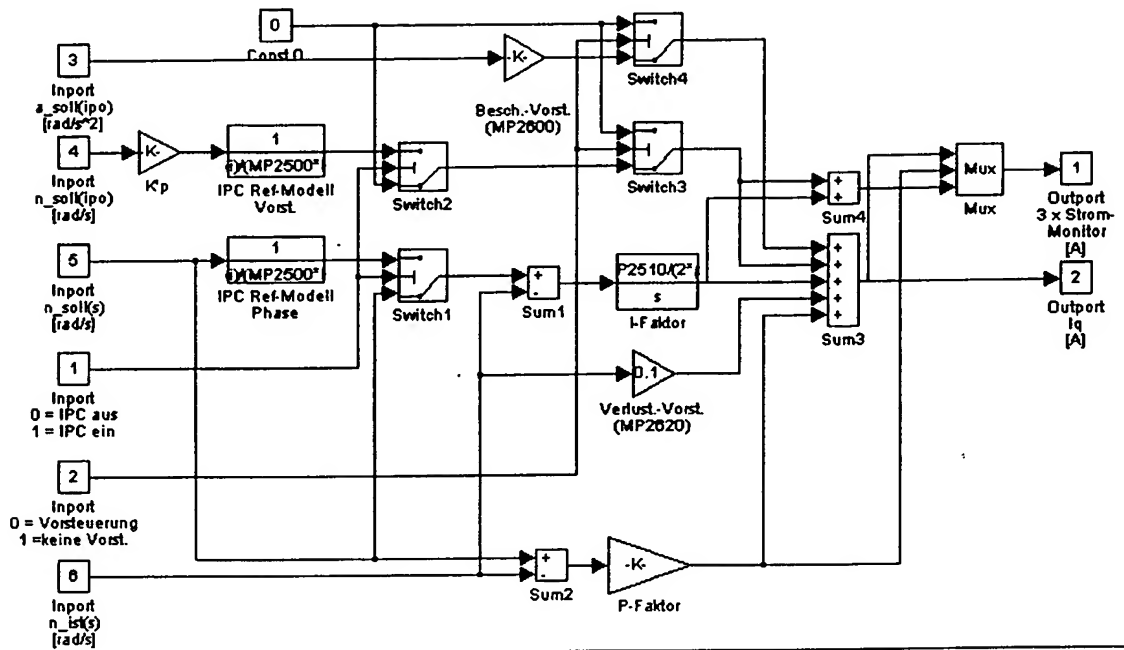
20

Abbildung Schleppfehler mit konventioneller Vorsteuerung, IPC und IPC-Vorsteuerung



- Wird der IPC-Vorsteuerzweig eingebaut, ergibt sich wiederum kein nachweisbarer Schleppfehler.
- 5

Abbildung: Struktur des Drehzahlregler-Blocks mit Vorsteuerung im Reglerausgang



5 Praktische Untersuchung des IPCs

Die praktischen Untersuchungen wurden an einer DIGMA 700 durchgeführt. Zuerst wurde ein IPC 1. Ordnung, wie er in obiger Simulation eingesetzt wurde, in die DSP-Software implementiert. Dabei ergaben sich nur geringe Vorteile bei Einsatz des IPCs, der Lageregler-kv konnte nur um ca. 15 % erhöht werden.

Es musste daher ein IPC mit höherer Ordnung eingesetzt werden, der den realen Streckenverhältnissen besser entspricht.

15 Einsatz eines IPCs 2. Ordnung

Eine Realisierung des IPCs mit 2. Ordnung wurde nach folgender Übertragungsfunktion eingesetzt:

$$H(s) = \frac{1}{1 + T_1 * s + T_2 * s^2}$$

Dies ist die Übertragungsfunktion eines schwingfähigen PT2s mit Dämpfung D.

$$D = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{T_1}{2 * T_2}$$

5

Bei realen Werkzeugmaschinen ist eine gedämpfte Schwingung zu erwarten. Die Dämpfung D bewegt sich somit im Bereich $0 < D < 1$.

Die Zeitkonstante T2 berechnet sich:

10

$$T_2 = \frac{T_1}{2 * D}$$

Bei Einsatz eines IPCs 2. Ordnung wurden bereits deutlich bessere Ergebnisse erzielt, diese kamen aber immer noch nicht an die Simulationsergebnisse heran, die auf eine theoretische Erhöhung der Lagereglerverstärkung kv auf ca. 170% schließen ließen. Dabei wurden für die DIGMA 700 folgende Zeitkonstanten ermittelt:

Zeitkonstanten an der DIGMA 700:

20

	X-Achse	Y-Achse	Z-Achse
MP25	15	15	12
MP26	0.0212	0.0205	0.0165
T1'	1	1	1
T2'	0.0017	0.0018	0.0018
T1	1.41 ms	1.37 ms	1.37 ms
T2	1.7 ms	1.8 ms	1.8 ms
D	0.41	0.39	0.38

Untenstehende Tabelle zeigt die erreichten Lagereglerverstärkungen (kV-Faktoren) an der X-Achse der DIGMA 700 bei verschiedenen IPC-

Ausführungen. Dabei wurde immer die Schwinggrenze gesucht. Für einen stabilen Betrieb ist diese nach einer Faustregel mit Faktor 0.65 zu multiplizieren.

	kV (Schwing- grenze)	kV (stabil)
ohne IPC	8.5	5.5
IPC 1. Ordnung	9.5	6.2
IPC 2. Ordnung (D = 0.5)	13.0	8.5
IPC 2. Ordnung (D = 0.41)	14.5	9.5

5

Die Lagereglerverstärkung konnte somit auf 170% erhöht werden.

Die Herleitung des IPC-Algorithmus erfolgt ausgehend von der Gleichung:

$$H(s) = \frac{1}{1 + T_1 * s + T_2 * s^2}$$

10

Bestimmung der T2-Zeitkonstante

Versuche an der DIGMA 700 haben gezeigt, daß die T2-Zeitkonstante und somit die Dämpfung dann optimal eingestellt war, wenn der Schleppfehler in der Ruck-Phase minimale Abweichung zeigte (mit integrierter Ruck-Vorsteuerung). Bei allen drei Achsen konnte auf diese Art die T2-Zeitkonstante bestimmt werden.

15

Am Laboraufbau konnte (JL direkt auf Motorwelle) konnte ebenfalls auf diese Art eine Bestimmung der optimalen T2-Zeitkonstante durchgeführt werden.

20

Zusammenhang zwischen Dämpfung und T2-Zeitkonstante:

$$D = \frac{T_1}{2 * T_2}$$

Einsatz an Maschinen mit dominanter Eigenfrequenz

- Eine weitere Einsatzmöglichkeit des IPCs ist gegeben, wenn man für Maschinen mit tiefer Eigenresonanz und schlechter Dämpfung die IPC-Zeitkonstanten auf die Regelstrecke abstimmt.

- Bei ersten Untersuchungen an der "Chiron FZ 22 L" in der Fertigung konnte dabei der kV-Faktor von 1 auf 5 erhöht werden. Allerdings konnte in diesem Fall nicht die aus MP26 und MP25 ermittelte Zeitkonstante T1 eingesetzt werden. Es mußte eine wesentlich höhere Zeitkonstante (ca. Faktor 5) eingesetzt werden, welche eine Zeitkonstante in der Maschine kompensiert.

- Zusätzlich zur "Chiron FZ 22 L" wurde noch eine zweite Maschine, eine Deckel-Maho "DMU 50 V" untersucht.

15

- Die Maschine Deckel-Maho "DMU 50 V" weist starke Resonanzen bei 42 Hz und 50 Hz auf. Diese sind so dominant, daß nur ein Ruck von 10 und eine Beschleunigung von 1.5 bei kV = 4 eingestellt werden kann. Durch Einsatz des IPCs konnte für alle Achsen ein kV von 12 erreicht werden. Die Werte für Ruck konnten auf 20 erhöht werden, die Beschleunigung wurde auf 3 angehoben.

20

Zeitkonstanten an der DMU 50 V:

	X-Achse	Y-Achse	Z-Achse
MP25	15	4.8	5.4
MP26	0.045	0.016	0.016
T1'	0.0042	0.0052	0.0052
T2'	0.003	0.0022	0.0013
T1	4.2 ms	5.2 ms	5.2 ms
T2	3.0 ms	2.2 ms	1.3 ms
D	0.70	1.18	2.00

25

Die Drehzahlreglereinstellungen wurden nicht verändert (org. Deckel-Maho).

Fazit: Bei beiden Maschinen konnte eine deutliche Verbesserung im Lagereglerverhalten durch Einsatz des IPCs erreicht werden.

5 IPC-Abgleich

Bei Einsatz des IPCs muß man zwischen zwei Maschinentypen unterscheiden. Typ 1 ist eine steife Maschine nicht zu großer Bauart, die meist direkt angetrieben ist oder Linearmotoren besitzt. Typ 2 ist eine Maschine mit dominanter Eigenfrequenz im Bereich 15 Hz .. 80 Hz, an der
10 kein ausreichend großer kV-Faktor eingestellt werden kann.

Abgleich an steifen Maschinen

Bei Maschinen vom Typ 1 reicht es in der Regel, wenn der IPC mit $T1' = 1$ und $T2' = 0$ eingeschaltet wird. Der kV-Faktor wird so lange erhöht, bis eine
15 deutliche Schwingneigung beim Verfahren zu beobachten ist.

Wenn dieser kV-Faktor gefunden wurde, erfolgt ein Feinabgleich der IPC-Zeitkonstante T2. Dazu wird zuerst ein T2-Startwert von

$$20 \quad T2 = \frac{2}{3} * \frac{MP26}{MP25}$$

eingestellt. Anschließend wird T2' solange verändert, bis ein neuer maximaler kV-Faktor gefunden ist. Üblicherweise muß bei diesem Maschinentyp die T2-Zeitkonstante reduziert werden (bis max. 0.5 x
25 Startwert). Es ist aber auch eine Erhöhung gegenüber dem Startwert denkbar.

Zum Abschluß ist der kV-Faktor für die Schwinggrenze mit Faktor 0.65 zu multiplizieren, um eine ausreichende Stabilität des Lagereglers
30 sicherzustellen.

Bei diesem Maschinentyp ist eine Erhöhung des kV's um Faktor 1.4 .. 1.7 möglich.

Abgleich an Maschinen mit dominanter Eigenfrequenz

Bei Maschinen vom Typ 2 ist zunächst der gleiche Abgleich durchzuführen wie bei Maschinen vom Typ 1. Der IPC muß mit $T1' = 1$ eingeschaltet werden und es gilt, $T2$ zu ermitteln. Hierbei ist auch möglich, daß sich eine

5 $T2$ -Zeitkonstante ergibt, welche deutlich größer als der $T2$ -Startwert ist.

Nun muß die $T1$ -Zeitkonstante ermittelt werden. Dazu ist anstelle der 1 ein $T1$ -Startwert in MP2602 einzutragen. Dieser errechnet sich aus

10
$$T1 = \frac{MP26}{MP25}$$

Dieser Startwert ist solange zu erhöhen, bis ein maximaler kV -Faktor gefunden ist. Ist die gefundene $T1$ -Zeitkonstante deutlich größer als der Startwert ($>$ Faktor 2), sollte erneut ein Abgleich der $T2$ -Zeitkonstante

15 erfolgen. Dazu ist der bisher gefundene Wert versuchsweise zu erniedrigen bzw. zu erhöhen.

Zum Abschluß ist der kV -Faktor für die Schwinggrenze mit Faktor 0.65 zu multiplizieren, um eine ausreichende Stabilität des Lagereglers

20 sicherzustellen.

Bei Maschinen vom Typ 2 ist auch eine größere Steigerung des kV 's als Faktor 1.7 möglich.

